

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
OPE – ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE EMPRESA (ASPECTOS
TÉCNICOS, JURÍDICOS Y ECONÓMICOS EN PRODUCCIÓN)

Regularidad de la producción en el MMSP-W/pmr/free. Análisis de las mejores soluciones Nissan-9Eng.I

Joaquín Bautista-Valhondo · Rocío Alfaro-Pozo

Research Group OPE-PROTHIUS. ETSEIB. Universitat Politècnica de Catalunya.
Avda. Diagonal, 647, 7th floor, 08028 Barcelona, Spain.

OPE-PROTHIUS · OPE-WP.2016/04 (20161205)
(Documento científico-técnico: 20161205)



PROTHIUS

Càtedra Organització Industrial

<http://futur.upc.edu/OPE>

<http://www.prothius.com>

Regularidad de la producción en el MMSP-W/pmr/free. Análisis de las mejores soluciones Nissan-9Eng.I

Joaquín Bautista-Valhondo, Rocío Alfaro-Pozo *

Research Group OPE-PROTHIUS. ETSEIB. Universitat Politècnica de Catalunya.
Avda. Diagonal, 647, 7th floor, 08028 Barcelona, Spain.

Resumen · Abstract

En este trabajo analizamos la regularidad de la producción de las mejores secuencias para el conjunto de instancias Nissan-9Eng.I, en el marco de un problema de secuenciación de modelos mixtos con mínima sobrecarga, restricciones sobre la preservación del mix de producción y con libre interrupción de operaciones. Las soluciones proceden de 3 fuentes: programación dinámica acotada asistida por programación lineal, programación lineal entera mixta y algoritmos híbridos GRASP asistidos por programación lineal: GRASP-LP. También recogemos aquí las mejores secuencias conseguidas por los algoritmos GRASP-LP, para el conjunto de instancias Nissan-9Eng.I, midiendo su calidad en sobrecarga de trabajo, tiempo inerte y regularidad en producción.

Palabras clave: Mixed model sequencing problem, workload, production mix restrictions, Product Rate Variation Problem, Bounded Dynamic Programming, Mixed Integer Linear Programming, GRASP.

1 Introducción

En [1] presentamos las mejores soluciones, según el criterio de mínima sobrecarga de trabajo, conseguidas hasta el presente para el conjunto de instancias Nissan-9Eng.I, correspondiente al problema MMSP-W/pmr/free: MMSP-W (*Mixed Model Sequencing Problem with Workload Minimisation*) sujeto a restricciones de preservación del mix de producción (pmr) y con libre interrupción de las operaciones de fabricación (free).

En todas sus variantes, el propósito final de la familia de problemas MMSP-W es obtener una secuencia de modelos que minimice la sobrecarga total de trabajo o la caída de producción en la línea; este objetivo es equivalente a maximizar el trabajo total completado (Teorema 1 en [2]).

Por otra parte, la regularidad en una secuencia de fabricación puede estar asociada a uno o más atributos productivos [3], como son: la fabricación de modelos, el consumo de componentes, el trabajo aplicado, el trabajo requerido o, incluso, la sobrecarga de trabajo. Esta propiedad deseable en el sector de automoción y, en general, en entornos industriales sujetos al ideario Just-in-Time, queda reflejada a través de secuencias de fabricación que propician el ajuste entre las tasas reales de presencia y/o aplicación del atributo en cada ciclo de la secuencia y una tasa ideal asociada a cada atributo preferiblemente constante a lo largo del horizonte del programa de producción.

Como indicábamos en [1], la variante MMSP-W/pmr considera, además de la minimización de la sobrecarga, la regularidad de la producción a lo largo de la secuencia de fabricación. A esta propiedad la llamamos preservación del mix de producción.

* Email addresses: joaquin.bautista@upc.edu (J Bautista), rocio.alfaro@upc.edu (R Alfaro)

Por su parte, la interrupción libre de una operación de fabricación, en una estación de trabajo, se produce cuando la unidad de producto, sin completar, es liberada antes de alcanzar el límite que marca la ventana temporal concedida a los operarios; cuando se alcanza dicho límite la unidad, completada o sin completar, se libera hacia la siguiente estación de trabajo.

Tras esta breve introducción, el texto que inmediatamente sigue se estructura así: en la sección 2 describimos la forma de preservar el mix de producción en una secuencia y proponemos métricas para evaluar su regularidad (no-regularidad) en producción; en la sección 3 recopilamos los datos sobre el caso de estudio del conjunto de instancias Nissan-9Eng.I; en la sección 4 referenciamos los procedimientos empleados para resolver el problema; en la sección 5 presentamos los valores de la sobrecarga para las mejores secuencias del conjunto de instancias Nissan-9Eng.I (estado del arte) y evaluamos su no-regularidad en la producción; finalmente, dedicamos la sección 6 a las conclusiones sobre este trabajo.

2 Regularidad de la producción en una secuencia de fabricación

Análogamente a [1], [3], [4] y [5], diremos que la secuencia $\pi_\varepsilon(T) = (\pi_{1,\varepsilon}, \dots, \pi_{T,\varepsilon})$, compuesta por T unidades de productos y asociada al plan de demanda ε , posee la propiedad de preservación del mix de producción si se satisface el conjunto de restricciones (1):

$$\lfloor \lambda_{i,\varepsilon} t \rfloor \leq X_{i,t,\varepsilon} \leq \lceil \lambda_{i,\varepsilon} t \rceil \quad \forall i \in I, \forall t \in T, \forall \varepsilon \in E, \text{ con } X_{i,T,\varepsilon} = d_{i,\varepsilon} \quad \forall i \in I, \forall \varepsilon \in E \quad (1)$$

Donde:

- I : conjunto de tipos de productos, $i = 1, \dots, |I|$
- E : conjunto de planes de demanda, $\varepsilon = 1, \dots, |E|$
- T : conjunto de ciclos de fabricación en todo plan de demanda, $t = 1, \dots, |T|$; $T \equiv |T|$
- $d_{i,\varepsilon}$: demanda de unidades tipo $i \in I$ en el plan $\varepsilon \in E$
- $\lambda_{i,\varepsilon}$: proporción de unidades tipo $i \in I$ en el plan $\varepsilon \in E$: $\lambda_{i,\varepsilon} = d_{i,\varepsilon}/T \quad \forall i \in I, \forall \varepsilon \in E$
- $X_{i,t,\varepsilon}$: número de unidades tipo $i \in I$ en la secuencia parcial $\pi_\varepsilon(t) = (\pi_{1,\varepsilon}, \dots, \pi_{t,\varepsilon}) \subseteq \pi_\varepsilon(T)$ del plan $\varepsilon \in E$: producción real asociada a la secuencia parcial $\pi_\varepsilon(t)$.

Todas las secuencias referidas en este trabajo cumplen con el conjunto de restricciones (1). Por tanto, nuestras secuencias presentan la misma calidad ante la satisfacción de restricciones (1). Entonces, para medir su regularidad, es obvio que conviene recurrir a otros discriminantes más exigentes como son las funciones empleadas en el ideario Just-in-Time ([6], [7], [8]).

En concreto, para medir la no-regularidad de una secuencia $\pi_\varepsilon(T)$, aquí emplearemos la suma de discrepancias cuadráticas entre la producción ideal ($\lambda_{i,\varepsilon}t$) de cada producto ($i \in I$), en cada ciclo de fabricación ($t \in T$) y en cada plan de demanda ($\varepsilon \in E$), y sus producciones reales ($X_{i,t,\varepsilon}$) en toda secuencia parcial de fabricación ($\pi_\varepsilon(t)$). Como en [5] y [8], adoptamos la métrica $\Delta_Q(X, \varepsilon)$:

$$\Delta_Q(X, \varepsilon) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{|I|} (X_{i,t,\varepsilon} - \lambda_{i,\varepsilon}t)^2 \quad \forall \varepsilon \in E \quad (2)$$

3 Caso de estudio. Características

La experiencia computacional que proponemos está enfocada a analizar el comportamiento de GRASP-LP frente a otros dos procedimientos en cuanto a calidad de soluciones y tiempos de CPU; dichos procedimientos son: (1) BDP (Bounded Dynamic Programming) y (2) MILP (Mixed Integer Linear Programming). Igual que en [4], el análisis lo realizamos sobre un caso de estudio de la planta de Nissan en Barcelona: una línea de ensamblado de 9 tipos de motores agrupados en 3 familias (4x4, furgonetas y camiones), donde trabajan 42 operarios, en cada turno de 8 horas presenciales, sujetos a un tiempo de ciclo de 175 segundos.

Brevemente, las características que enmarcan el caso que nos ocupa son:

- Número de estaciones de trabajo: $|K| \equiv m = 21$.
- Número de tipos de producto: $|I| = 9$ ($i = 1, \dots, 9$).
- Tiempo de ciclo: $c = 175$ s., y una ventana temporal: $l_k = 195$ s. ($\forall k = 1, \dots, 21$).
- Número de procesadores homogéneos (con 2 operarios): $b_k = 1$ ($\forall k = 1, \dots, 21$).
- Tiempos de proceso $p_{i,k}$, según tipo de motor y estación de trabajo ($\forall i \in I, \forall k \in K$), con valores comprendidos entre 89 s. y 185 s. a actividad normal (ver Tabla I.1 en Anexo I).
- Número de planes de demanda de motores: $|E| = 23$ ($\varepsilon = 1, \dots, 23$), correspondientes a las instancias Nissan-9Eng.I. Todos los planes tienen la misma demanda diaria (ver Tabla I.2 en Anexo I).
- Demanda diaria: $T \equiv D_\varepsilon = 270$ unidades ($\forall \varepsilon = 1, \dots, 23$).

4 Caso de estudio. Procedimientos

Los códigos compilados de los procedimientos han sido ejecutados en iMac (Intel Core i7 2.93 GHz, 8 GB de RAM). Las características de los tres procedimientos son:

- BDP-2: Algoritmo BDP con preservación del mix de producción en dos versiones (2/1 y 2/2) según pseudo-dominancias de vértices (ver [5]). Sus propiedades son: (i) máximo número de transiciones desde todo vértice igual al número de tipos de producto $|I| = 9$; (ii) 4 anchos de ventana $H = (1, 36, 81, 126)$ para los 23 planes de demanda (184 ejecuciones del algoritmo contemplando las 2 versiones); (iii) solución de partida Z_0 para H_n igual a la mejor solución obtenida con ventana H_{n-1} , excepto para $H_1 = 1$, donde $Z_0 \rightarrow \infty$; (iv) tiempo de CPU medio empleado por plan de demanda igual a 5026.6 s.; y (v) preservación del mix de producción y libre interrupción de las operaciones con asistencia de la programación lineal (solver Gurobi).
- MILP: Modelo 4 U 3_pmr (ver [3]). Sus propiedades son: (i) implementación para solver Gurobi v4.5.0; (ii) tiempo de CPU máximo concedido al modelo para cada plan de demanda igual 7200 s. (23 ejecuciones), empleando un tiempo medio de 6605.1; y (iii) con restricciones de preservación del mix de producción y con libre interrupción de las operaciones.
- GRASP-LP: Algoritmos GRASP (ver [4]) asistidos por programación lineal (ver [9]). Sus propiedades son: (i) máximo número de iteraciones por plan de demanda igual a 10; (ii) tres valores del factor de admisión $\Lambda = (25\%, 50\%, 100\%)$ (690 soluciones en 69 ejecuciones); (iii) tiempo de CPU medio por plan de demanda empleado por las dos fases de GRASP igual a 425.3 s.; (iv) con restricciones de preservación del mix de producción; y (v) libre interrupción de las operaciones mediante la asistencia de la programación lineal (ver modelo LP-W en [9]).

tras la ejecución de GRASP, empleando un tiempo de CPU medio igual a 1.25 s. con solver CPLEX v11.0 ejecutado en iMac (Intel Core 2 Duo 2.33 GHz, 3 GB de RAM) usando un solo procesador.

5 Caso de estudio. Resultados

La Tabla 1 recoge los mejores resultados conseguidos por BDP-2 (ver tabla 3 en [5]), MILP (ver tabla 3 en [3], columna 4 U 3_pmr) y GRASP-LP (ver tabla 2 en [9]), para la sobrecarga W en los 23 planes de demanda $\varepsilon \in E$. En ella se muestran también el algoritmo Ganador en cada plan de demanda y las ganancias unitarias de GRASP-LP frente a BDP-2 (ΔGvB), GRASP-LP frente a MILP (ΔGvM) y BDP-2 frente a MILP (ΔBvM), que se determinan así:

$$\Delta \mathcal{P}v\mathcal{P}'(\varepsilon) = \frac{W_{\mathcal{P}'}(\varepsilon) - W_{\mathcal{P}}(\varepsilon)}{\min(W_{\mathcal{P}'}(\varepsilon), W_{\mathcal{P}}(\varepsilon))} \quad \forall \varepsilon \in E, \forall \mathcal{P} \in \{G, B\}, \forall \mathcal{P}' \in \{B, M\} \quad (3)$$

Table 1. Para cada plan $\varepsilon \in E$, Sobrecarga W según procedimiento (W_{BDP-2} , W_{MILP} , $W_{GRASP-LP}$). Ganancia unitaria entre pares de procedimientos (ΔGvB , ΔGvM , ΔBvM), mejor solución W_{BMG} y Algoritmo Ganador.

$\varepsilon \in E$	W_{BDP-2}	W_{MILP}	$W_{GRASP-LP}$	ΔGvB	ΔGvM	ΔBvM	W_{BMG}	Ganador
1	166	186	98	0.69	0.90	0.12	98	GRASP-LP
2	318	383	342	-0.08	0.12	0.20	318	BDP-2
3	444	423	430	0.03	-0.02	-0.05	423	MILP
4	305	307	419	-0.37	-0.36	0.01	305	BDP-2
5	633	661	662	-0.05	-0.00	0.04	633	BDP-2
6	428	478	525	-0.23	-0.10	0.12	428	BDP-2
7	740	731	728	0.02	0.00	-0.01	728	GRASP-LP
8	112	160	92	0.22	0.74	0.43	92	GRASP-LP
9	739	751	911	-0.23	-0.21	0.02	739	BDP-2
10	1209	1208	1208	0.00	0.00	-0.00	1208	GR/MILP
11	92	122	96	-0.04	0.27	0.33	92	BDP-2
12	293	287	268	0.09	0.07	-0.02	268	GRASP-LP
13	277	336	294	-0.06	0.14	0.21	277	BDP-2
14	381	423	397	-0.04	0.07	0.11	381	BDP-2
15	422	442	429	-0.02	0.03	0.05	422	BDP-2
16	216	251	227	-0.05	0.11	0.16	216	BDP-2
17	466	488	464	0.00	0.05	0.05	464	GRASP-LP
18	610	619	698	-0.14	-0.13	0.01	610	BDP-2
19	949	945	948	0.00	-0.00	-0.00	945	MILP
20	129	150	169	-0.31	-0.13	0.16	129	BDP-2
21	565	561	725	-0.28	-0.29	-0.01	561	MILP
22	991	984	987	0.00	-0.00	-0.01	984	MILP
23	111	121	107	0.04	0.13	0.09	107	GRASP-LP
Media	-	-	-	-0.04	0.06	0.09	-	-

En cuanto al criterio de mínima sobrecarga, el análisis de la Tabla 1 nos permite afirmar:

- El procedimiento ganador en número de soluciones es BDP-2 con 12 mejores soluciones sobre 23; el segundo mejor procedimiento es GRASP-LP, que consigue la mejor solución en 7 ocasiones (planes 1, 7, 8, 10, 12, 17 y 23), mientras que MILP queda en última posición con 5 mejores soluciones (planes 3, 10, 19, 21 y 22). MILP y GRASP empatan en el plan 10, y MILP confirma como óptimas las soluciones de los planes 10 y 19.

- GRASP-LP vence a BDP-2 en 10 ocasiones de 23. La ganancia unitaria media de BDP-2 sobre GRASP-LP es del 15%, cuando BDP-2 es el ganador, mientras que la de GRASP-LP sobre BDP-2 es del 11%, cuando vence GRASP-LP. En media global, la ganancia unitaria de BDP-2 sobre GRASP-LP es sólo del 4%.
- GRASP-LP gana a MILP en 12 planes y empata en el plan 10. La ganancia unitaria media global de GRASP-LP sobre MILP es del orden del 6%. En detalle, GRASP-LP vence a MILP con una ganancia unitaria media parcial del 22%, y MILP vence a GRASP-LP parcialmente con ganancia del orden del 12%.
- BDP-2 vence a MILP 16 veces de 23. Las ganancias unitarias medias parciales, cuando BDP-2 vence a MILP y viceversa, son iguales al 13% y al 1%. BDP-2 vence globalmente a MILP con una ganancia del 9%.
- BDP-2, MILP y GRASP-LP necesitaron en promedio 5026.6 s, 6605.1 s y 426.6 s, respectivamente, para confirmar su mejor solución en cada plan de demanda.

Por otra parte, recordemos que todas las secuencias obtenidas con los tres procedimientos (BDP-2, MILP y GRASP-LP) satisfacen la propiedad de preservación del mix de producción (pmr) que hemos establecido a través de las restricciones (1). Por consiguiente, todas las secuencias cumplen: $[\lambda_{i,\varepsilon}t] \leq X_{i,t,\varepsilon} \leq [\lambda_{i,\varepsilon}t]$, $X_{i,T,\varepsilon} = d_{i,\varepsilon} \forall i \in I, \forall t \in T, \forall \varepsilon \in E$.

En la Tabla 2 recogemos los valores de la función de no-regularidad $\Delta_Q(X, \varepsilon)$ -fórmula (2)- de las mejores soluciones, según la sobrecarga W (tabla 1), del conjunto de instancias Nissan-9Eng.I:

Table 2. Para cada plan $\varepsilon \in E$, valor de la función $\Delta_Q(X, \varepsilon)$ según procedimiento ($\Delta_Q(X, \varepsilon)_B$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_M$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G$) y ganancia unitaria entre pares de procedimientos (ΔGvB , ΔGvM , ΔBvM) y valor de la mejor solución $\Delta_Q(X, \varepsilon)_{BMG}$.

$\varepsilon \in E$	$\Delta_Q(X, \varepsilon)_B$	$\Delta_Q(X, \varepsilon)_M$	$\Delta_Q(X, \varepsilon)_G$	ΔGvB	ΔGvM	ΔBvM	$\Delta_Q(X, \varepsilon)_{BMG}$	Ganador
1	400.0	400.0	400.0	0.00	0.00	0.00	400.0	Todos
2	327.9	423.5	397.0	-0.21	0.07	0.29	327.9	BDP-2
3	340.7	408.5	380.6	-0.12	0.07	0.20	340.7	BDP-2
4	333.6	421.3	396.4	-0.19	0.06	0.26	333.6	BDP-2
5	352.1	394.7	429.0	-0.22	-0.09	0.12	352.1	BDP-2
6	388.5	420.0	395.7	-0.02	0.06	0.08	388.5	BDP-2
7	423.6	396.0	403.4	0.05	-0.02	-0.07	396.0	MILP
8	347.6	448.1	414.0	-0.19	0.08	0.29	347.6	BDP-2
9	360.7	411.2	394.8	-0.09	0.04	0.14	360.7	BDP-2
10	330.8	381.1	415.5	-0.26	-0.09	0.15	330.8	BDP-2
11	384.1	447.3	429.0	-0.12	0.04	0.16	384.1	BDP-2
12	385.5	410.2	416.2	-0.08	-0.01	0.06	385.5	BDP-2
13	334.5	436.4	419.8	-0.25	0.04	0.30	334.5	BDP-2
14	353.9	414.9	408.9	-0.16	0.01	0.17	353.9	BDP-2
15	378.1	445.2	401.1	-0.06	0.11	0.18	378.1	BDP-2
16	340.0	404.9	388.1	-0.14	0.04	0.19	340.0	BDP-2
17	370.2	415.3	391.6	-0.06	0.06	0.12	370.2	BDP-2
18	336.3	419.6	402.6	-0.20	0.04	0.25	336.3	BDP-2
19	412.2	412.3	373.5	0.10	0.10	0.00	373.5	GRASP-LP
20	342.6	393.6	386.5	-0.13	0.02	0.15	342.6	BDP-2
21	384.8	404.2	409.8	-0.07	-0.01	0.05	384.8	BDP-2
22	317.7	395.8	382.7	-0.20	0.03	0.25	317.7	BDP-2
23	309.2	385.6	377.1	-0.22	0.02	0.25	309.2	BDP-2
Media	-	-	-	-0.12	0.03	0.16	-	-

En la Tabla 2 mostramos también el algoritmo Ganador, según no-regularidad, en cada plan de demanda y las ganancias unitarias de GRASP-LP frente a BDP-2 (ΔGvB), GRASP-LP frente a MILP (ΔGvM) y BDP-2 frente a MILP (ΔBvM), que se determinan según (4):

$$\Delta \mathcal{P}v\mathcal{P}'(\varepsilon) = \frac{\Delta_Q(X, \varepsilon)_{\mathcal{P}'} - \Delta_Q(X, \varepsilon)_{\mathcal{P}}}{\min(\Delta_Q(X, \varepsilon)_{\mathcal{P}'}, \Delta_Q(X, \varepsilon)_{\mathcal{P}})} \quad \forall \varepsilon \in E, \forall \mathcal{P} \in \{G, B\}, \forall \mathcal{P}' \in \{B, M\} \quad (4)$$

Donde:

- $\Delta_Q(X, \varepsilon)_B$: No-regularidad de las mejores soluciones en sobrecarga W mediante BDP-2.
- $\Delta_Q(X, \varepsilon)_M$: No-regularidad de las mejores soluciones en sobrecarga W mediante MILP.
- $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G$: No-regularidad de las mejores soluciones en sobrecarga W mediante GRASP-LP.

Tras analizar la Tabla 2, afirmamos:

- BDP-2 es el procedimiento ganador con 20 mejores soluciones sobre 23.
- GRASP-LP obtiene 1 mejor solución (plan 19).
- MILP obtiene una mejor solución (plan 7).
- BDP-2, MILP y GRASP-LP empatan en el plan 1 con solución óptima en no-regularidad.
- La ganancia unitaria media de BDP-2 sobre GRASP-LP es del 15%, cuando BDP-2 es el ganador, mientras que la de GRASP-LP sobre BDP-2 es del 8%, cuando vence GRASP-LP. En media global, la ganancia unitaria de BDP-2 sobre GRASP-LP es del 12%.
- La ganancia unitaria media global de GRASP-LP sobre MILP es sólo del 3%. En detalle, GRASP-LP vence a MILP con una ganancia unitaria media parcial del 5%, y MILP vence a GRASP-LP parcialmente con ganancia del orden del 4%.
- Las ganancias unitarias medias parciales, cuando BDP-2 vence a MILP y viceversa, son iguales al 17% y al 7%. BDP-2 vence globalmente a MILP con una ganancia del 16%.

Si empleamos en jerarquía los criterios de mínima sobrecarga y el de mínima no-regularidad (supeditado al primero), el empate entre MILP y GRASP-LP en el plan 10 (óptimo en sobrecarga) se deshace a favor de MILP; en concreto: $\Delta_Q(X, 10)_M = 381.1$ y $\Delta_Q(X, 10)_G = 415.5$.

Por tanto, el balance final en este torneo de procedimientos frente a las 23 instancias del conjunto Nissan-9Eng.I es: 12 victorias para BDP-2 frente a 7 para GRASP-LP y 6 para MILP. Aunque, en tiempo de computación, BDP-2, MILP y GRASP-LP emplearon respectivamente una media por instancia de 5026.6 s, 6605.1 s y 426.6 s.

Lo anterior convierte a GRASP-LP en un procedimiento altamente competitivo para el problema MMSP-W/pmr/free, pues consigue, en la doceava parte de tiempo, soluciones con una calidad en sobrecarga alejadas solamente un 4% de las del ganador BDP-2. En el Anexo II recopilamos las secuencias de GRASP-LP para las instancias del conjunto Nissan-9Eng.I con sus correspondientes valores en sobrecarga, tiempo inerte y no-regularidad de la producción.

6 Conclusiones

En soluciones con mínima sobrecarga de trabajo, BDP-2 es el procedimiento ganador (estado del arte). GRASP-LP ocupa la segunda posición al 4% de BDP en ganancia unitaria global y vence a MILP en un 6%.

En soluciones con mínima no-regularidad de la producción, criterio subordinado a la sobrecarga de trabajo, el procedimiento ganador es también BDP-2. GRASP-LP ocupa la segunda posición al 12% de BDP-2 en ganancia unitaria global y vence a MILP en un 3%.

En tiempo de CPU promedio por instancia, el procedimiento más rápido es GRASP-LP: 11.8 y 15.5 veces más rápido que BDP y MILP, respectivamente. Insistimos sobre la importancia de este criterio en el caso que nos ocupa, pues 1 minuto de parada de línea supone un coste de 137.14 €.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido subvencionada por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España a través del proyecto FHI-SELM2 (TIN2014-57497-P).

Referencias · References

1. Bautista, J., Alfaro-Pozo, R.: Mejores soluciones del conjunto de instancias Nissan-9Eng.I para el problema MMSP-W/pmr/free. Technical Report: OPE-PROTHIUS · OPE-WP.2016/02 (20160619), Universitat Politècnica de Catalunya (2016). <http://hdl.handle.net/2117/88164>
2. Bautista, J., Cano, A.: Solving mixed model sequencing problem in assembly lines with serial workstations with work overload minimisation and interruption rules. *European Journal of Operational Research* 210(3), pp. 495-513 (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2010.10.022>
3. Bautista, J., Cano, A., Alfaro, R.: Modeling and solving a variant of the mixed-model sequencing problem with work overload minimisation and regularity constraints. An application in Nissan's Barcelona Plant. *Expert Systems with Applications* 39(12), pp. 11001–11010 (2012). <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.03.024>
4. Bautista, J., Alfaro-Pozo, R., Batalla-García, C.: GRASP for sequencing mixed models in an assembly line with work overload, useless time and production regularity. *Progress in Artificial Intelligence* 5(1), pp. 27-33 (2016). <http://dx.doi.org/10.1007/s13748-015-0071-z>
5. Bautista, J., Cano, A., Alfaro, R.: A hybrid dynamic programming for solving a mixed-model sequencing problem with production mix restriction and free interruptions. *Progress in Artificial Intelligence*, First Online (2016). <http://dx.doi.org/10.1007/s13748-016-0101-5>
6. Monden, Y.: *Toyota Production System · An Integrated Approach to Just-In-Time*. Springer US (1994).
7. Corominas, A., Moreno, N.: On The Relations Between Optimal Solutions For Different Types Of Min-Sum Balanced Jit Optimisation Problems. *INFOR: Information Systems and Operational Research* 41(4), pp. 333-339 (2003). <http://dx.doi.org/10.1080/03155986.2003.11732685>
8. Bautista, J., Cano, A., Alfaro, R., Batalla, C.: Impact of the Production Mix Preservation on the ORV Problem. In Bielza, C. et al. (Eds.): CAEPIA 2013, LNAI 8109, pp. 250–259, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2013). http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-40643-0_26
9. Bautista, J., Alfaro-Pozo, R.: Algoritmo híbrido GRASP-LP para secuenciar modelos mixtos en una línea de montaje con sobrecarga, libre interrupción y regularidad en la producción. In Luaces, O. et al. (Eds.): *Actas de la XVII Conferencia de la Asociación Española para la Inteligencia Artificial*, pp. 281-290, Ediciones Universidad de Salamanca (2016). <http://hdl.handle.net/2117/96069>

Anexo I : Datos del conjunto de instancias Nissan-9Eng.I

$k \backslash i$	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
1	104	100	97	92	100	94	103	109	101
2	103	103	105	107	101	108	106	102	110
3	165	156	164	161	148	156	154	164	155
4	166	175	172	167	168	167	168	156	173
5	111	114	114	115	117	117	115	111	111
6	126	121	122	124	127	130	120	121	134
7	97	96	96	93	96	89	94	101	92
8	100	97	95	106	94	102	103	102	100
9	179	174	173	178	178	171	177	171	174
10	178	172	172	177	178	177	175	173	175
11	161	152	168	167	167	166	172	157	177
12	96	106	105	97	101	100	96	104	96
13	99	101	102	101	99	101	96	102	99
14	147	155	142	154	146	143	154	153	155
15	163	152	156	152	153	152	154	156	156
16	163	185	183	178	169	173	172	182	171
17	173	179	178	169	173	178	174	175	175
18	176	167	181	180	172	173	173	168	184
19	162	150	152	152	160	151	155	148	167
20	164	161	157	159	162	160	162	158	157
21	177	161	154	168	172	170	167	149	169

Tabla I.1. Tiempos de proceso a actividad normal ($p_{i,k}$) en segundos de los 9 tipos de motores ($i \in I$) en las 21 estaciones de trabajo ($k \in K$) del conjunto de instancias Nissan-9Eng.I.

$\varepsilon \in E$	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	4x4	Van	Truck	Total
1	30	30	30	30	30	30	30	30	30	90	60	120	270
2	30	30	30	45	45	23	23	22	22	90	90	90	270
3	10	10	10	60	60	30	30	30	30	30	120	120	270
4	40	40	40	15	15	30	30	30	30	120	30	120	270
5	40	40	40	60	60	8	8	7	7	120	120	30	270
6	50	50	50	30	30	15	15	15	15	150	60	60	270
7	20	20	20	75	75	15	15	15	15	60	150	60	270
8	20	20	20	30	30	38	38	37	37	60	60	150	270
9	70	70	70	15	15	8	8	7	7	210	30	30	270
10	10	10	10	105	105	8	8	7	7	30	210	30	270
11	10	10	10	15	15	53	53	52	52	30	30	210	270
12	24	23	23	45	45	28	28	27	27	70	90	110	270
13	37	37	36	35	35	23	23	22	22	110	70	90	270
14	37	37	36	45	45	18	18	17	17	110	90	70	270
15	24	23	23	55	55	23	23	22	22	70	110	90	270
16	30	30	30	35	35	28	28	27	27	90	70	110	270
17	30	30	30	55	55	18	18	17	17	90	110	70	270
18	60	60	60	30	30	8	8	7	7	180	60	30	270
19	10	10	10	90	90	15	15	15	15	30	180	60	270
20	20	20	20	15	15	45	45	45	45	60	30	180	270
21	60	60	60	15	15	15	15	15	15	180	30	60	270
22	20	20	20	90	90	8	8	7	7	60	180	30	270
23	10	10	10	30	30	45	45	45	45	30	60	180	270

Tabla I.2. Planes diarios de demanda producto-plan $(d_{i,\varepsilon})$ para las 23 instancias Nissan-9Eng.I ($\varepsilon \in E$). Fuente:

Anexo II : Secuencias Nissan-9Eng.I mediante GRASP

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 1$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	3	1	2	6	5	4	7	8	9	6
<i>10</i>	7	2	4	1	8	9	5	3	6	5
<i>20</i>	2	4	7	9	8	1	3	7	5	2
<i>30</i>	4	1	8	9	6	3	7	5	2	4
<i>40</i>	1	8	9	6	3	2	4	5	1	8
<i>50</i>	9	7	6	3	5	2	4	1	7	8
<i>60</i>	9	6	3	7	5	2	4	1	8	9
<i>70</i>	6	3	2	4	5	1	8	9	7	6
<i>80</i>	3	5	2	4	1	7	8	9	6	3
<i>90</i>	7	5	2	4	1	8	9	6	3	2
<i>100</i>	4	5	1	8	9	7	6	3	5	2
<i>110</i>	4	1	7	8	9	6	3	7	5	2
<i>120</i>	4	1	8	9	6	3	2	4	5	1
<i>130</i>	8	9	7	6	3	5	2	4	1	7
<i>140</i>	8	9	6	3	7	5	2	4	1	8
<i>150</i>	9	6	3	2	4	5	1	8	9	7
<i>160</i>	6	3	5	2	4	1	7	8	9	6
<i>170</i>	3	7	5	2	4	1	8	9	6	3
<i>180</i>	2	4	5	1	8	9	7	6	3	5
<i>190</i>	2	4	1	7	8	9	6	3	7	5
<i>200</i>	2	4	1	8	9	6	3	2	4	5
<i>210</i>	1	8	9	7	6	3	5	2	4	1
<i>220</i>	7	8	9	6	3	7	5	2	4	1
<i>230</i>	8	9	6	3	2	4	5	1	8	9
<i>240</i>	7	6	3	5	2	4	1	7	8	9
<i>250</i>	6	3	7	5	2	4	1	8	9	6
<i>260</i>	3	5	7	2	4	9	6	8	1	3

Métricas: $W = 142$, $U = 176080$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 400$

Interrupción forzada · LC GRASP L25

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 2$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	4	3	5	8	1	9	2	5	6	4
<i>10</i>	7	6	3	5	2	4	1	8	9	5
<i>20</i>	2	4	1	7	3	6	4	5	8	9
<i>30</i>	5	2	4	1	3	7	5	2	4	1
<i>40</i>	3	7	5	4	6	8	9	6	2	4
<i>50</i>	7	1	3	5	8	9	5	3	2	4
<i>60</i>	5	1	4	7	6	3	5	2	4	1
<i>70</i>	7	8	9	6	3	5	2	4	5	4
<i>80</i>	1	8	9	6	3	5	2	1	8	4
<i>90</i>	1	7	3	6	5	4	7	2	9	5
<i>100</i>	4	2	4	1	8	9	5	3	6	3
<i>110</i>	1	2	4	5	5	4	7	6	3	1
<i>120</i>	8	9	2	4	9	5	5	2	4	7
<i>130</i>	1	3	6	5	8	4	7	9	3	1
<i>140</i>	2	7	4	5	6	3	5	8	4	1
<i>150</i>	8	9	2	4	1	5	2	4	5	7
<i>160</i>	9	3	6	5	3	8	1	4	5	2
<i>170</i>	4	1	3	7	5	4	6	2	9	7
<i>180</i>	6	4	8	1	3	5	2	4	5	1
<i>190</i>	3	6	2	8	4	5	9	7	5	2
<i>200</i>	4	1	8	9	6	7	3	5	2	4
<i>210</i>	5	4	1	8	9	3	7	6	4	5
<i>220</i>	8	9	3	1	2	4	5	7	4	1
<i>230</i>	3	6	5	2	9	3	1	2	4	5
<i>240</i>	7	4	5	6	8	9	6	3	5	2
<i>250</i>	4	1	7	3	5	8	4	1	2	4
<i>260</i>	5	6	9	8	1	3	5	2	4	7

Métricas: $W = 404$, $U = 175970$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 397.0$

Interrupción forzada · LC GRASP L25

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 3$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	4	9	5	3	7	6	4	5	8	4
<i>10</i>	5	9	2	5	7	4	6	8	4	7
<i>20</i>	9	5	6	4	5	1	8	9	6	8
<i>30</i>	4	5	1	5	7	4	4	5	3	6
<i>40</i>	5	4	7	8	9	8	5	9	2	4
<i>50</i>	5	7	6	4	7	4	5	8	9	4
<i>60</i>	5	6	3	5	7	4	6	8	9	5
<i>70</i>	2	4	4	7	1	5	8	9	5	4
<i>80</i>	6	5	4	7	8	9	6	2	4	5
<i>90</i>	6	4	5	7	4	1	8	9	5	7
<i>100</i>	4	6	3	5	4	5	8	9	6	4
<i>110</i>	5	8	9	2	4	5	7	1	4	5
<i>120</i>	8	9	7	6	4	5	4	5	6	8
<i>130</i>	9	4	7	3	5	7	4	5	6	8
<i>140</i>	9	4	3	5	5	4	7	8	9	5
<i>150</i>	4	6	2	4	7	5	1	5	4	6
<i>160</i>	9	8	7	9	2	4	5	5	4	6
<i>170</i>	8	4	1	8	9	5	7	4	5	6
<i>180</i>	3	5	7	4	6	4	8	9	5	7
<i>190</i>	5	4	6	8	9	3	5	4	5	7
<i>200</i>	4	6	8	9	2	4	5	5	1	4
<i>210</i>	7	8	9	5	4	6	8	9	5	2
<i>220</i>	4	5	6	4	7	5	1	4	7	4
<i>230</i>	5	8	9	6	6	4	5	8	9	4
<i>240</i>	7	3	5	6	5	4	7	8	9	3
<i>250</i>	5	4	5	7	4	6	8	9	5	2
<i>260</i>	4	5	7	4	6	1	8	9	5	4

Métricas: $W = 436$, $U = 176198$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 380.6$

Interrupción forzada · LC GRASP L100

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 4$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	9	3	6	5	2	4	1	8	7	9
<i>10</i>	6	2	1	3	7	8	1	3	6	9
<i>20</i>	2	2	3	5	7	1	8	4	6	7
<i>30</i>	9	2	1	3	8	1	9	2	6	3
<i>40</i>	3	2	1	7	8	4	7	1	3	5
<i>50</i>	8	9	6	2	7	9	8	1	3	6
<i>60</i>	2	1	3	2	4	5	7	1	8	9
<i>70</i>	6	3	6	2	2	5	1	8	9	7
<i>80</i>	3	3	2	4	1	6	8	9	7	3
<i>90</i>	7	1	8	9	2	4	1	6	3	5
<i>100</i>	9	2	7	8	1	3	6	2	3	6
<i>110</i>	2	5	1	8	9	3	7	9	2	4
<i>120</i>	1	7	8	1	3	6	9	2	4	1
<i>130</i>	7	3	6	2	8	3	6	2	5	1
<i>140</i>	8	9	7	3	8	1	7	9	2	3
<i>150</i>	6	1	2	4	7	5	9	8	1	3
<i>160</i>	6	2	2	1	3	6	5	4	7	9
<i>170</i>	8	1	3	6	7	2	1	8	9	2
<i>180</i>	9	3	2	3	8	4	1	7	6	3
<i>190</i>	6	2	5	1	8	9	7	3	2	4
<i>200</i>	5	1	8	9	7	6	3	8	1	2
<i>210</i>	9	3	2	6	7	1	7	8	9	2
<i>220</i>	1	3	6	2	1	7	8	9	3	6
<i>230</i>	2	4	1	5	7	3	5	8	9	6
<i>240</i>	2	1	3	3	2	4	1	6	8	9
<i>250</i>	7	3	7	1	8	9	2	4	1	6
<i>260</i>	3	5	2	1	8	9	7	3	6	2

Métricas: $W = 535$, $U = 177922$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 396.4$

Interrupción forzada · LC GRASP L100

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 5$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	4	3	1	2	5	4	6	5	3	8
<i>10</i>	1	4	5	2	4	1	3	5	2	4
<i>20</i>	5	1	3	7	5	2	4	1	3	5
<i>30</i>	4	5	2	4	1	3	6	9	2	4
<i>40</i>	5	9	5	2	4	1	3	5	4	5
<i>50</i>	2	4	1	3	1	2	5	4	5	4
<i>60</i>	3	1	2	5	4	7	3	3	8	4
<i>70</i>	5	1	2	4	1	2	5	4	7	5
<i>80</i>	3	4	1	2	5	4	5	3	9	6
<i>90</i>	3	2	4	1	5	2	4	5	1	3
<i>100</i>	5	2	4	1	4	6	3	5	3	8
<i>110</i>	4	5	1	2	4	5	9	5	2	4
<i>120</i>	1	3	7	5	2	4	1	3	5	4
<i>130</i>	5	2	4	1	3	6	3	2	4	5
<i>140</i>	4	1	5	2	4	1	3	5	3	5
<i>150</i>	2	4	8	4	1	5	2	4	7	1
<i>160</i>	3	5	3	5	2	4	5	4	1	2
<i>170</i>	1	4	7	3	8	5	4	1	2	5
<i>180</i>	4	5	3	6	3	5	4	1	2	9
<i>190</i>	5	2	4	1	3	5	4	2	4	5
<i>200</i>	1	3	5	7	2	4	1	3	5	4
<i>210</i>	2	4	5	1	3	8	9	5	3	2
<i>220</i>	4	5	1	4	2	4	5	1	3	5
<i>230</i>	2	4	1	6	3	5	2	4	5	4
<i>240</i>	1	3	6	3	1	2	4	5	4	1
<i>250</i>	2	5	4	7	5	3	9	8	5	4
<i>260</i>	1	3	5	2	4	1	3	5	2	4

Métricas: $W = 868$, $U = 176068$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 429.0$

Interrupción forzada · LC GRASP L100

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 6$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	4	9	2	1	3	5	2	1	3	7
<i>10</i>	8	4	1	6	3	5	2	1	3	2
<i>20</i>	8	3	2	4	1	7	5	2	9	3
<i>30</i>	6	1	3	2	4	5	1	8	9	6
<i>40</i>	2	4	1	3	5	3	1	2	4	1
<i>50</i>	7	2	5	3	2	4	1	5	3	9
<i>60</i>	8	1	3	6	2	3	2	4	1	5
<i>70</i>	7	3	2	8	1	2	4	5	1	3
<i>80</i>	7	5	2	4	1	6	3	9	2	1
<i>90</i>	3	3	2	4	5	1	8	9	3	2
<i>100</i>	4	5	1	7	3	6	2	1	2	4
<i>110</i>	1	7	3	3	2	1	5	4	5	8
<i>120</i>	9	6	2	1	3	3	1	8	9	2
<i>130</i>	2	4	5	1	3	6	3	2	4	5
<i>140</i>	1	7	3	1	2	9	8	1	3	5
<i>150</i>	2	4	7	1	3	5	2	4	1	6
<i>160</i>	3	2	2	3	8	1	9	2	4	5
<i>170</i>	1	3	5	2	4	1	7	3	6	3
<i>180</i>	1	8	9	2	2	4	5	1	3	6
<i>190</i>	3	2	1	5	2	4	1	7	3	5
<i>200</i>	2	4	1	6	3	9	8	1	3	2
<i>210</i>	2	4	1	5	7	3	5	2	1	3
<i>220</i>	7	2	4	1	8	9	3	3	6	1
<i>230</i>	5	2	4	1	2	9	3	2	4	5
<i>240</i>	7	1	3	6	8	1	3	5	2	3
<i>250</i>	2	4	5	1	8	9	6	3	1	2
<i>260</i>	4	1	3	5	2	4	7	1	3	2

Métricas: $W = 748$, $U = 176172$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 395.7$

Interrupción forzada · LC GRASP L100

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 7$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	5	4	9	3	5	8	4	1	2	4
<i>10</i>	5	5	4	7	4	5	3	6	5	4
<i>20</i>	2	4	1	5	8	9	5	4	7	2
<i>30</i>	4	5	4	1	5	6	3	5	7	4
<i>40</i>	5	4	6	2	4	5	4	1	5	8
<i>50</i>	9	3	5	4	5	4	6	8	9	5
<i>60</i>	2	4	5	1	4	4	7	3	5	5
<i>70</i>	4	3	6	5	4	7	1	2	4	5
<i>80</i>	4	5	4	5	8	9	3	5	4	1
<i>90</i>	2	4	5	5	7	4	6	3	5	4
<i>100</i>	5	8	9	2	4	1	5	4	1	2
<i>110</i>	5	4	5	4	3	6	4	5	5	4
<i>120</i>	7	8	9	5	2	4	5	4	1	8
<i>130</i>	9	3	5	4	7	5	4	5	2	4
<i>140</i>	5	1	4	6	3	5	4	5	4	7
<i>150</i>	2	4	1	5	4	3	6	5	4	5
<i>160</i>	8	9	4	5	2	4	1	6	3	5
<i>170</i>	8	4	5	5	7	4	4	5	3	9
<i>180</i>	6	2	4	5	5	4	1	5	4	2
<i>190</i>	4	5	1	8	9	5	4	7	3	6
<i>200</i>	5	4	1	2	5	4	5	4	4	5
<i>210</i>	7	8	9	3	5	4	5	7	4	5
<i>220</i>	2	4	1	3	6	4	5	4	5	8
<i>230</i>	9	3	5	4	5	4	8	9	5	1
<i>240</i>	2	4	5	4	1	6	2	4	5	4
<i>250</i>	5	7	4	6	3	5	5	4	7	2
<i>260</i>	4	5	4	1	8	9	5	3	5	4

Métricas: $W = 790$, $U = 185210$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 403.4$

Interrupción forzada · LC GRASP L50

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 8$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	4	7	6	9	3	5	8	7	9	6
<i>10</i>	2	1	4	8	5	9	8	1	6	3
<i>20</i>	5	7	8	9	7	2	4	1	6	8
<i>30</i>	4	5	9	6	3	7	7	2	4	5
<i>40</i>	9	6	8	9	6	7	2	4	1	5
<i>50</i>	8	9	7	3	6	8	1	7	4	6
<i>60</i>	3	5	8	9	5	2	4	7	9	6
<i>70</i>	8	1	3	5	8	9	7	6	6	4
<i>80</i>	2	4	1	7	8	9	5	8	9	7
<i>90</i>	3	5	6	2	4	1	8	7	9	6
<i>100</i>	2	4	7	9	5	6	3	7	8	9
<i>110</i>	5	6	4	6	8	7	9	2	4	1
<i>120</i>	6	3	5	8	9	7	2	4	1	7
<i>130</i>	8	9	6	3	5	2	4	1	8	7
<i>140</i>	9	6	8	5	3	6	5	4	7	7
<i>150</i>	8	9	6	2	4	1	7	8	9	6
<i>160</i>	3	5	8	9	6	4	5	8	1	3
<i>170</i>	7	7	9	2	5	4	9	6	6	3
<i>180</i>	8	4	1	7	8	9	6	2	5	7
<i>190</i>	2	4	5	1	8	9	6	7	3	5
<i>200</i>	6	4	7	8	9	8	7	9	6	2
<i>210</i>	4	1	8	9	5	3	6	5	4	8
<i>220</i>	7	9	7	2	1	3	6	5	4	8
<i>230</i>	7	9	6	8	9	5	2	4	7	1
<i>240</i>	3	6	6	7	4	5	8	9	7	8
<i>250</i>	9	6	5	3	1	7	2	4	1	8
<i>260</i>	9	6	7	3	5	8	9	6	2	4

Métricas: $W = 96$, $U = 176226$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 414.0$

Interrupción forzada · LC GRASP L25

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 9$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	2	1	3	5	2	1	3	3	2	1
<i>10</i>	9	3	1	2	4	6	1	3	2	3
<i>20</i>	2	7	1	8	1	3	2	1	2	3
<i>30</i>	3	2	4	1	5	3	1	2	9	3
<i>40</i>	1	2	2	3	6	5	1	3	2	1
<i>50</i>	2	4	1	3	1	7	3	2	3	2
<i>60</i>	8	1	3	2	1	2	4	1	5	3
<i>70</i>	6	3	1	2	3	2	1	3	2	4
<i>80</i>	1	5	3	1	2	1	3	2	3	2
<i>90</i>	5	1	2	4	1	3	1	2	7	3
<i>100</i>	3	2	6	1	8	1	3	2	3	2
<i>110</i>	1	9	3	2	1	3	2	5	1	2
<i>120</i>	4	1	3	1	2	9	3	2	4	7
<i>130</i>	1	3	1	2	3	2	3	8	1	3
<i>140</i>	2	1	2	5	1	3	2	3	5	1
<i>150</i>	2	4	7	1	3	6	3	2	1	3
<i>160</i>	2	1	3	2	1	2	4	5	1	3
<i>170</i>	6	3	2	1	9	3	2	1	3	2
<i>180</i>	1	8	1	3	5	2	3	2	1	3
<i>190</i>	2	1	3	7	1	2	4	1	2	9
<i>200</i>	3	3	2	4	1	5	2	1	3	3
<i>210</i>	2	8	1	3	2	1	3	2	1	2
<i>220</i>	4	5	1	3	6	3	1	2	3	2
<i>230</i>	1	3	1	7	2	2	1	5	3	3
<i>240</i>	2	8	1	3	2	1	3	9	1	2
<i>250</i>	4	1	3	6	2	3	2	1	3	1
<i>260</i>	2	4	7	1	3	5	2	1	2	3

Métricas: $W = 1235$, $U = 176354$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 394.8$

Interrupción forzada · LC GRASP L25

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 10$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	4	5	4	5	9	3	5	4	8	4
<i>10</i>	5	4	5	1	5	4	4	5	2	4
<i>20</i>	5	5	4	5	4	5	4	6	3	5
<i>30</i>	4	5	4	7	4	5	1	4	5	5
<i>40</i>	4	5	2	4	7	5	4	5	4	5
<i>50</i>	4	4	5	8	9	4	5	1	4	5
<i>60</i>	5	4	4	5	5	4	3	6	4	5
<i>70</i>	5	4	5	4	5	2	4	7	5	4
<i>80</i>	4	1	5	4	5	2	4	5	5	4
<i>90</i>	4	5	4	5	6	3	5	4	4	5
<i>100</i>	5	4	4	5	8	9	4	5	5	4
<i>110</i>	5	4	3	6	4	5	1	5	4	5
<i>120</i>	4	5	2	4	4	5	4	7	5	4
<i>130</i>	5	4	5	4	5	6	3	5	4	7
<i>140</i>	5	4	4	5	5	4	5	4	8	9
<i>150</i>	5	4	5	2	4	5	4	1	4	5
<i>160</i>	5	4	5	4	5	4	8	9	4	5
<i>170</i>	3	5	4	5	4	1	5	4	5	4
<i>180</i>	5	2	4	4	5	5	4	5	4	7
<i>190</i>	2	4	5	1	4	5	5	4	4	5
<i>200</i>	5	4	6	3	5	4	7	5	4	4
<i>210</i>	5	5	4	4	5	8	9	5	4	4
<i>220</i>	5	4	5	4	5	3	6	5	4	5
<i>230</i>	4	4	5	8	9	5	4	2	4	5
<i>240</i>	5	4	1	5	4	5	4	5	2	4
<i>250</i>	5	4	7	5	4	5	4	5	4	5
<i>260</i>	4	6	3	5	4	1	5	4	5	4

Métricas: $W = 1246$, $U = 185788$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 415.5$

Interrupción forzada · LC GRASP L100

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 11$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	6	4	9	8	5	7	6	8	7	9
<i>10</i>	6	3	1	8	7	9	7	8	9	6
<i>20</i>	8	7	9	6	2	4	7	6	5	9
<i>30</i>	8	7	9	8	6	7	8	4	5	9
<i>40</i>	6	8	7	9	6	3	1	8	7	9
<i>50</i>	6	8	9	2	7	6	6	2	4	1
<i>60</i>	7	8	9	5	8	6	7	9	8	7
<i>70</i>	9	6	8	7	9	6	3	6	5	4
<i>80</i>	8	7	9	7	8	9	6	3	8	7
<i>90</i>	9	6	6	2	4	1	7	8	9	7
<i>100</i>	5	6	8	9	8	6	7	7	9	6
<i>110</i>	5	4	6	8	9	7	8	7	9	8
<i>120</i>	9	6	6	7	3	8	1	7	9	8
<i>130</i>	9	6	2	7	6	3	8	6	5	9
<i>140</i>	7	8	4	7	5	9	6	8	9	7
<i>150</i>	8	9	6	6	2	4	1	7	8	9
<i>160</i>	7	6	3	7	8	9	8	9	6	6
<i>170</i>	2	4	1	7	7	8	9	5	6	8
<i>180</i>	9	6	7	8	4	5	9	6	7	8
<i>190</i>	7	9	6	6	9	8	7	9	8	7
<i>200</i>	5	3	6	7	9	6	8	9	6	2
<i>210</i>	4	1	8	7	7	9	8	6	4	6
<i>220</i>	1	8	9	7	6	8	9	7	8	9
<i>230</i>	6	5	3	7	7	8	9	6	8	5
<i>240</i>	9	2	4	7	6	7	9	6	8	7
<i>250</i>	9	6	8	4	7	1	8	9	6	8
<i>260</i>	9	6	7	3	5	7	8	9	6	2

Métricas: $W = 124$, $U = 176766$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 429.0$

Interrupción forzada · LC GRASP L25

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 12$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	4	9	3	5	7	8	4	6	1	2
<i>10</i>	5	9	2	5	4	7	6	3	5	8
<i>20</i>	7	4	1	6	3	5	4	8	7	9
<i>30</i>	2	4	5	1	8	9	6	2	4	5
<i>40</i>	1	8	9	7	6	3	5	4	6	7
<i>50</i>	3	5	2	4	5	4	1	8	9	6
<i>60</i>	8	9	2	4	1	5	3	7	6	4
<i>70</i>	5	8	9	2	4	5	1	7	4	7
<i>80</i>	6	3	5	8	9	5	3	1	2	4
<i>90</i>	1	5	4	6	8	7	9	6	3	5
<i>100</i>	2	4	7	1	4	5	8	9	4	5
<i>110</i>	6	8	7	9	3	6	5	2	4	1
<i>120</i>	3	5	7	2	4	1	4	5	8	9
<i>130</i>	7	8	9	6	3	5	7	4	2	4
<i>140</i>	5	1	6	3	5	8	9	7	2	4
<i>150</i>	5	4	1	6	8	9	6	2	4	1
<i>160</i>	5	3	5	7	4	7	8	9	6	2
<i>170</i>	4	9	5	6	3	5	2	4	1	8
<i>180</i>	4	1	7	8	9	5	3	6	5	2
<i>190</i>	4	1	7	7	4	6	3	5	8	9
<i>200</i>	5	2	4	7	4	1	3	5	8	9
<i>210</i>	6	3	7	5	2	4	5	1	8	9
<i>220</i>	6	4	8	9	5	2	4	1	7	4
<i>230</i>	6	6	3	5	8	9	5	2	4	1
<i>240</i>	4	7	7	6	3	5	8	9	5	3
<i>250</i>	8	4	1	7	6	2	4	5	9	5
<i>260</i>	7	4	6	8	9	2	4	5	1	3

Métricas: $W = 284$, $U = 176053$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 416.2$

Interrupción forzada · LC GRASP L50

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 13$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	3	1	2	4	5	7	9	6	2	4
<i>10</i>	1	8	9	3	7	5	3	1	2	6
<i>20</i>	5	4	8	1	3	5	2	4	7	1
<i>30</i>	3	5	8	9	6	2	4	1	6	3
<i>40</i>	7	5	2	4	1	8	9	6	3	8
<i>50</i>	2	4	5	7	9	5	2	4	1	3
<i>60</i>	7	5	2	4	1	6	3	8	1	9
<i>70</i>	2	5	4	7	3	6	3	2	4	5
<i>80</i>	1	8	9	2	4	5	7	1	3	6
<i>90</i>	8	1	2	4	9	5	6	3	1	8
<i>100</i>	9	2	1	3	7	5	4	7	2	4
<i>110</i>	1	6	3	5	2	4	1	7	3	5
<i>120</i>	8	9	6	3	2	2	4	1	5	8
<i>130</i>	9	7	6	3	5	2	4	1	2	4
<i>140</i>	1	7	3	5	8	9	6	8	9	3
<i>150</i>	2	4	5	1	2	1	3	5	4	7
<i>160</i>	6	2	4	1	3	7	5	8	9	6
<i>170</i>	3	5	2	4	1	8	9	5	3	6
<i>180</i>	2	4	1	7	8	1	3	5	2	4
<i>190</i>	1	6	3	5	7	3	9	2	4	1
<i>200</i>	7	8	9	5	2	4	1	3	6	2
<i>210</i>	3	6	2	4	5	1	8	9	3	1
<i>220</i>	2	4	5	7	5	3	1	4	7	8
<i>230</i>	9	6	2	4	1	6	2	9	5	3
<i>240</i>	5	2	4	1	7	8	9	3	6	3
<i>250</i>	8	5	1	2	4	1	2	4	7	7
<i>260</i>	9	5	3	6	8	1	3	5	2	4

Métricas: $W = 399$, $U = 184665$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 419.8$

Interrupción forzada · LC GRASP L25

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 14$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	4	9	3	5	7	2	4	1	6	3
<i>10</i>	5	2	4	1	8	1	3	5	8	9
<i>20</i>	2	5	4	1	2	4	5	7	6	3
<i>30</i>	6	3	2	4	1	5	8	9	5	2
<i>40</i>	4	1	4	7	3	5	3	8	5	1
<i>50</i>	2	4	1	2	4	7	5	9	6	3
<i>60</i>	5	2	4	1	3	9	5	2	4	7
<i>70</i>	1	3	6	2	4	3	8	5	4	5
<i>80</i>	1	8	9	6	2	4	1	3	5	7
<i>90</i>	2	4	1	6	3	5	2	4	7	1
<i>100</i>	3	5	4	5	8	9	6	2	4	1
<i>110</i>	3	5	7	2	4	1	8	9	5	3
<i>120</i>	5	2	4	1	6	3	1	8	9	2
<i>130</i>	4	5	1	3	7	5	4	2	4	1
<i>140</i>	6	3	5	3	2	8	4	5	7	1
<i>150</i>	2	4	5	9	6	3	5	2	4	1
<i>160</i>	7	3	5	2	4	7	1	3	5	2
<i>170</i>	4	1	8	9	6	3	2	4	5	1
<i>180</i>	3	8	5	4	1	6	2	4	5	9
<i>190</i>	7	2	4	1	3	5	8	9	5	2
<i>200</i>	4	1	3	7	5	2	4	1	6	3
<i>210</i>	5	3	6	9	2	4	1	8	1	2
<i>220</i>	5	4	5	3	7	7	8	4	1	3
<i>230</i>	6	5	4	2	4	5	1	3	9	2
<i>240</i>	4	5	1	8	9	6	3	5	2	4
<i>250</i>	1	7	3	5	2	4	1	7	4	6
<i>260</i>	2	9	3	5	8	1	3	5	2	4

Métricas: $W = 543$, $U = 176973$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 408.9$

Interrupción forzada · LC GRASP L25

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 15$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	4	9	3	5	5	4	6	2	1	8
<i>10</i>	4	7	9	8	5	6	4	5	3	1
<i>20</i>	2	4	5	7	4	5	3	6	1	8
<i>30</i>	4	7	5	9	2	4	1	6	3	5
<i>40</i>	8	9	2	4	5	4	7	7	5	2
<i>50</i>	4	1	5	8	9	5	3	6	4	3
<i>60</i>	1	7	5	4	6	2	4	1	5	4
<i>70</i>	6	8	9	5	3	5	2	4	9	5
<i>80</i>	7	4	7	6	3	8	5	4	1	2
<i>90</i>	4	1	5	4	5	8	9	6	3	7
<i>100</i>	5	2	4	5	4	1	8	9	6	3
<i>110</i>	5	2	4	1	8	5	7	4	4	5
<i>120</i>	6	3	9	5	2	4	7	5	4	1
<i>130</i>	8	9	6	3	7	5	2	4	9	5
<i>140</i>	7	4	5	6	3	8	1	4	5	2
<i>150</i>	4	1	4	5	8	9	6	2	4	7
<i>160</i>	9	5	3	8	4	5	5	4	1	7
<i>170</i>	3	6	9	2	4	5	4	1	8	6
<i>180</i>	5	3	5	2	4	1	4	7	8	9
<i>190</i>	5	2	4	5	1	3	6	4	5	7
<i>200</i>	7	4	5	8	9	6	3	5	2	4
<i>210</i>	1	6	3	5	8	4	5	9	2	4
<i>220</i>	1	5	4	7	7	4	5	8	9	6
<i>230</i>	2	4	1	3	5	5	4	7	6	3
<i>240</i>	5	8	9	2	4	5	1	2	4	1
<i>250</i>	4	5	8	7	9	6	3	5	2	4
<i>260</i>	5	1	3	6	7	4	8	9	5	4

Métricas: $W = 461$, $U = 176083$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 401.1$

Interrupción forzada · LC GRASP L50

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 16$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	4	9	2	1	3	5	8	7	4	6
<i>10</i>	5	3	1	8	7	6	2	4	5	9
<i>20</i>	6	7	2	4	1	3	5	8	9	6
<i>30</i>	3	1	8	7	9	2	5	2	4	1
<i>40</i>	6	3	5	7	4	8	9	5	2	4
<i>50</i>	1	6	3	7	8	1	2	4	9	6
<i>60</i>	5	3	7	9	2	4	1	5	8	7
<i>70</i>	9	3	6	5	8	4	1	3	5	2
<i>80</i>	4	1	7	3	6	5	8	9	2	4
<i>90</i>	1	7	8	9	6	3	5	7	2	4
<i>100</i>	1	6	3	5	8	9	2	4	5	7
<i>110</i>	4	1	3	6	9	2	4	5	1	8
<i>120</i>	9	6	3	7	2	8	4	5	6	1
<i>130</i>	3	5	2	4	7	9	6	3	8	4
<i>140</i>	5	1	2	7	9	2	4	1	5	8
<i>150</i>	9	6	3	7	5	3	6	8	1	2
<i>160</i>	4	7	1	8	9	2	4	5	7	5
<i>170</i>	3	9	6	3	8	2	4	1	6	5
<i>180</i>	3	7	2	4	1	5	4	7	8	9
<i>190</i>	6	2	4	1	8	9	6	3	5	7
<i>200</i>	8	9	2	4	5	1	3	7	6	2
<i>210</i>	4	1	8	9	5	3	1	2	4	5
<i>220</i>	7	6	6	4	3	1	8	7	9	2
<i>230</i>	5	4	5	3	6	7	9	2	3	8
<i>240</i>	4	5	1	7	8	9	6	2	4	1
<i>250</i>	6	3	5	3	1	8	7	9	2	5
<i>260</i>	4	6	7	3	5	8	9	1	2	4

Métricas: $W = 255$, $U = 176001$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 388.1$

Interrupción forzada · LC GRASP L25

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 17$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	4	9	3	5	2	5	1	4	7	6
<i>10</i>	3	8	1	4	5	2	4	9	6	5
<i>20</i>	3	5	2	4	7	1	4	8	5	4
<i>30</i>	5	3	7	1	2	4	1	6	3	5
<i>40</i>	8	9	2	4	5	7	5	4	6	3
<i>50</i>	5	2	4	1	5	2	4	1	4	5
<i>60</i>	8	9	3	1	2	4	5	7	4	5
<i>70</i>	3	6	8	5	9	2	4	1	5	3
<i>80</i>	6	7	4	5	2	4	1	8	9	3
<i>90</i>	1	2	4	5	5	4	7	3	6	3
<i>100</i>	4	5	1	8	9	2	4	5	4	1
<i>110</i>	2	5	4	5	7	3	6	9	2	4
<i>120</i>	5	8	4	1	5	3	6	3	1	2
<i>130</i>	4	7	5	4	5	7	3	5	2	4
<i>140</i>	1	8	9	5	2	4	1	4	6	8
<i>150</i>	9	5	3	6	5	3	2	4	7	5
<i>160</i>	4	1	2	4	1	5	4	6	3	5
<i>170</i>	8	9	3	1	2	4	5	7	4	5
<i>180</i>	6	3	5	2	4	1	7	4	5	8
<i>190</i>	9	2	4	1	3	7	5	4	5	8
<i>200</i>	9	5	2	4	1	3	6	5	8	4
<i>210</i>	1	3	6	5	4	2	4	5	7	9
<i>220</i>	2	4	1	3	5	5	2	4	1	3
<i>230</i>	7	4	5	6	8	9	3	1	2	5
<i>240</i>	4	5	8	9	6	4	2	4	5	1
<i>250</i>	3	5	2	4	7	7	4	1	6	3
<i>260</i>	5	8	9	5	2	4	1	5	3	4

Métricas: $W = 556$, $U = 184904$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 391.6$

Interrupción forzada · LC GRASP L100

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 18$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	2	5	3	1	2	4	1	3	6	3
<i>10</i>	1	2	5	3	2	4	1	9	8	1
<i>20</i>	3	5	2	1	3	2	4	3	5	1
<i>30</i>	2	4	7	1	3	2	2	4	5	1
<i>40</i>	3	3	2	8	1	3	2	4	5	1
<i>50</i>	2	1	3	7	2	4	1	5	3	6
<i>60</i>	3	2	1	9	3	2	1	3	2	4
<i>70</i>	5	1	2	4	1	6	3	5	3	1
<i>80</i>	2	9	3	2	4	1	5	2	1	3
<i>90</i>	7	2	1	3	3	5	1	2	4	1
<i>100</i>	2	5	3	3	2	4	1	7	5	2
<i>110</i>	4	1	3	3	2	8	1	3	2	8
<i>120</i>	1	2	4	5	1	3	6	3	2	1
<i>130</i>	2	4	1	5	3	6	3	1	2	5
<i>140</i>	3	2	4	1	7	3	1	2	4	1
<i>150</i>	3	5	2	9	3	2	5	1	3	1
<i>160</i>	2	4	1	2	9	3	3	2	4	5
<i>170</i>	1	2	1	3	5	2	4	1	6	3
<i>180</i>	3	2	4	1	8	1	3	5	2	3
<i>190</i>	2	4	5	1	7	3	1	2	5	3
<i>200</i>	1	2	4	1	3	6	2	8	1	2
<i>210</i>	3	3	2	4	5	1	2	4	1	3
<i>220</i>	1	2	9	5	3	7	3	1	2	4
<i>230</i>	1	2	5	3	3	2	4	1	1	2
<i>240</i>	5	3	7	5	3	1	2	4	1	3
<i>250</i>	6	2	3	2	1	8	1	3	5	2
<i>260</i>	4	5	1	2	9	3	3	1	2	4

Métricas: $W = 1067$, $U = 176135$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 402.6$

Interrupción forzada · LC GRASP L50

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 19$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	4	9	5	6	4	5	3	5	4	5
<i>10</i>	2	4	4	7	5	5	4	8	5	4
<i>20</i>	6	1	5	4	4	7	5	4	5	8
<i>30</i>	9	4	5	4	5	3	6	5	4	2
<i>40</i>	4	5	1	4	5	5	7	4	5	4
<i>50</i>	8	9	4	5	4	5	8	9	4	5
<i>60</i>	2	4	5	7	4	5	5	1	4	4
<i>70</i>	5	6	3	5	4	5	4	8	9	5
<i>80</i>	4	5	4	7	5	4	6	2	4	5
<i>90</i>	4	5	1	5	4	8	9	4	5	4
<i>100</i>	7	5	5	4	6	3	5	4	7	5
<i>110</i>	4	2	4	5	6	5	4	4	5	8
<i>120</i>	9	5	4	5	4	1	4	5	6	3
<i>130</i>	5	4	4	5	7	5	4	8	9	4
<i>140</i>	5	4	5	3	6	4	5	7	5	4
<i>150</i>	5	4	8	9	5	4	5	2	4	5
<i>160</i>	4	1	5	4	3	6	5	4	4	5
<i>170</i>	7	4	5	8	9	5	4	5	2	4
<i>180</i>	4	1	5	5	4	8	9	5	4	7
<i>190</i>	5	4	5	1	4	5	4	6	2	4
<i>200</i>	5	7	4	5	5	4	6	3	5	4
<i>210</i>	5	4	8	9	5	4	4	5	3	6
<i>220</i>	5	4	2	4	5	5	4	7	4	5
<i>230</i>	8	9	5	4	4	5	8	9	5	4
<i>240</i>	5	4	1	5	7	4	4	5	1	5
<i>250</i>	4	6	2	4	5	4	5	7	4	5
<i>260</i>	8	9	5	4	5	4	3	6	5	4

Métricas: $W = 971$, $U = 176128$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 373.5$

Interrupción forzada · LC GRASP L50

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 20$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	3	5	8	7	9	6	2	4	7	9
<i>10</i>	6	8	1	8	7	9	6	2	4	1
<i>20</i>	7	8	9	6	3	7	5	8	9	6
<i>30</i>	8	7	9	6	3	2	6	4	1	7
<i>40</i>	8	9	7	5	8	9	6	3	7	8
<i>50</i>	1	9	2	6	5	4	7	8	9	6
<i>60</i>	8	9	6	7	3	2	7	1	8	9
<i>70</i>	6	3	6	2	1	7	9	8	8	7
<i>80</i>	9	6	2	4	1	5	8	9	7	6
<i>90</i>	3	7	5	9	6	8	4	7	6	9
<i>100</i>	8	1	8	9	6	3	7	2	6	2
<i>110</i>	1	7	9	8	5	4	7	8	9	6
<i>120</i>	7	3	8	9	6	3	6	9	2	1
<i>130</i>	7	8	4	5	7	9	6	8	9	6
<i>140</i>	3	7	2	8	6	1	8	4	7	9
<i>150</i>	5	8	9	7	6	3	1	8	7	9
<i>160</i>	2	6	5	4	7	8	9	6	8	7
<i>170</i>	9	6	3	2	7	1	8	9	6	3
<i>180</i>	6	2	5	7	9	8	4	1	6	8
<i>190</i>	9	7	8	9	7	6	3	2	6	1
<i>200</i>	8	4	7	9	7	5	8	9	6	3
<i>210</i>	1	8	7	9	6	2	6	5	4	8
<i>220</i>	7	9	7	8	9	6	2	1	3	8
<i>230</i>	7	9	6	3	6	9	2	1	7	8
<i>240</i>	4	5	7	9	6	8	7	9	8	1
<i>250</i>	3	6	7	8	9	6	2	4	7	5
<i>260</i>	1	8	9	6	8	7	9	6	3	2

Métricas: $W = 234$, $U = 176966$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 386.5$

Interrupción forzada · LC GRASP L25

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 21$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	9	2	4	1	3	1	2	5	3	6
<i>10</i>	3	2	7	1	8	1	3	2	3	2
<i>20</i>	1	8	1	3	7	9	2	6	1	3
<i>30</i>	2	2	4	1	5	3	5	3	1	2
<i>40</i>	4	6	1	3	2	2	1	7	9	3
<i>50</i>	3	2	1	8	1	7	3	6	2	3
<i>60</i>	2	8	1	3	2	4	1	1	2	9
<i>70</i>	5	3	8	1	3	6	2	3	2	4
<i>80</i>	1	7	9	2	1	3	5	3	1	2
<i>90</i>	3	2	6	5	1	3	2	1	7	2
<i>100</i>	4	1	3	1	8	9	2	3	2	8
<i>110</i>	1	3	3	7	1	2	4	5	1	2
<i>120</i>	9	3	6	3	2	1	6	3	2	1
<i>130</i>	3	2	4	1	7	8	1	3	5	2
<i>140</i>	9	3	2	1	3	6	2	8	1	2
<i>150</i>	1	5	3	3	2	1	9	3	1	2
<i>160</i>	4	7	1	2	9	5	3	7	3	1
<i>170</i>	2	4	1	2	6	3	3	2	1	8
<i>180</i>	1	8	9	2	3	2	1	5	3	6
<i>190</i>	3	2	1	3	2	4	1	7	8	1
<i>200</i>	3	6	2	2	5	1	3	3	2	4
<i>210</i>	1	7	9	2	1	3	3	2	1	7
<i>220</i>	3	2	4	5	1	3	6	8	1	2
<i>230</i>	9	3	2	1	8	1	3	6	2	3
<i>240</i>	2	1	7	9	3	2	1	3	2	4
<i>250</i>	5	1	6	3	5	2	1	3	9	2
<i>260</i>	1	3	2	1	8	1	7	3	2	4

Métricas: $W = 943$, $U = 185066$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 409.8$

Interrupción forzada · LC GRASP L100

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 22$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	4	9	5	4	5	3	6	5	4	2
<i>10</i>	4	5	4	1	5	2	4	5	5	1
<i>20</i>	4	7	4	5	4	5	3	8	5	4
<i>30</i>	4	5	1	5	4	3	6	5	4	5
<i>40</i>	2	4	5	4	1	2	4	5	5	4
<i>50</i>	7	4	5	3	8	5	4	5	4	1
<i>60</i>	3	5	4	5	2	4	5	7	4	4
<i>70</i>	5	3	9	5	4	5	2	4	4	5
<i>80</i>	1	5	4	1	2	4	5	5	4	6
<i>90</i>	3	5	4	5	2	4	5	4	1	3
<i>100</i>	5	4	5	4	8	9	5	4	5	2
<i>110</i>	4	7	4	5	5	4	1	4	5	3
<i>120</i>	6	5	4	5	4	2	4	1	5	4
<i>130</i>	3	5	5	4	8	9	5	4	4	5
<i>140</i>	2	4	5	1	4	5	3	6	5	4
<i>150</i>	5	2	4	1	5	4	3	5	4	5
<i>160</i>	7	4	4	5	3	8	5	4	5	4
<i>170</i>	1	2	4	5	5	4	6	3	5	4
<i>180</i>	9	5	4	5	4	2	4	5	1	4
<i>190</i>	5	2	4	5	1	4	5	3	8	5
<i>200</i>	4	4	7	5	4	3	5	7	5	4
<i>210</i>	4	1	5	2	4	5	5	9	4	5
<i>220</i>	4	6	3	5	4	5	2	4	4	1
<i>230</i>	5	5	4	3	9	5	4	5	2	4
<i>240</i>	5	4	1	2	4	5	5	4	1	4
<i>250</i>	8	5	4	5	3	4	5	1	2	4
<i>260</i>	5	5	4	7	4	5	3	6	5	4

Métricas: $W = 1084$, $U = 176251$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 382.7$

Interrupción forzada · LC GRASP L50

Secuencia Plan de demanda : $\varepsilon = 23$

<i>Orden</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	9	6	5	8	4	7	9	8	1	3
<i>10</i>	7	6	7	8	4	5	9	6	8	6
<i>20</i>	9	2	5	7	7	6	4	8	9	5
<i>30</i>	8	9	6	2	4	7	5	9	6	4
<i>40</i>	8	7	9	6	8	1	4	7	8	9
<i>50</i>	5	6	3	7	6	4	5	8	9	7
<i>60</i>	8	9	6	3	7	5	2	4	7	9
<i>70</i>	6	8	1	4	7	6	8	9	5	6
<i>80</i>	8	9	7	2	4	7	9	6	5	8
<i>90</i>	9	7	6	8	4	1	8	9	5	3
<i>100</i>	7	6	6	4	5	8	9	7	7	8
<i>110</i>	9	6	3	5	6	4	8	7	9	5
<i>120</i>	8	7	9	6	2	4	7	1	4	6
<i>130</i>	8	9	5	6	8	9	7	2	4	7
<i>140</i>	9	6	5	8	9	7	6	8	4	1
<i>150</i>	8	9	5	3	7	6	6	4	5	8
<i>160</i>	7	9	7	8	9	6	3	5	6	4
<i>170</i>	8	7	9	5	8	7	9	6	2	4
<i>180</i>	6	7	4	1	8	9	7	5	8	9
<i>190</i>	6	4	5	6	8	9	7	2	4	7
<i>200</i>	9	5	6	8	9	8	1	3	7	6
<i>210</i>	5	4	6	8	9	7	7	3	5	8
<i>220</i>	9	6	1	6	4	8	7	9	5	6
<i>230</i>	4	8	7	9	6	7	8	9	2	4
<i>240</i>	5	7	6	1	8	9	5	8	7	9
<i>250</i>	4	6	6	8	7	9	2	4	7	9
<i>260</i>	5	8	6	5	3	7	6	8	4	9

Métricas: $W = 107$, $U = 176534$, $\Delta_Q(X, \varepsilon)_G = 377.1$

Interrupción forzada · LC GRASP L50